

ПОСТРОЕНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИОННЫХ НАНОСТАЛЕЙ ПРИ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ*

Чукин М.В., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г., Лысенин А.В. (гр. ТГПИ-06).

Руководитель: К.Г. Пивоварова, кандидат технических наук.

ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Челябинская область, г. Магнитогорск.

Интенсивный рост промышленности и строительства в России в последние годы предъявляет все более высокие требования к качеству и прочностным характеристикам материалов, используемых для изготовления деталей конструкций, работающих в напряженных состояниях. Один из способов улучшения их механических свойств – создание сложных высоколегированных специальных систем, которые, в конечном итоге, приводят к существенному удорожанию конструкций, что не всегда оправданно. Поэтому в последнее время все больше внимания исследователей направлено на развитие и исследование наноструктурных состояний, полученных в недорогих сплавах, которые позволяют значительно расширить класс конструкционных материалов благодаря созданию повышенных прочностных свойств в них [1,2].

В ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» проведены исследования механических свойств и микроструктуры конструкционных наносталей [3-6]. В качестве модельного материала были выбраны углеродистые конструкционные стали марок 20 и 45 промышленных плавок. В равновесном состоянии указанные стали имели феррито-перлитную структуру с тонкопластинчатым строением перлита.

В работе рассмотрен метод равноканального углового прессования (РКУП). Процесс РКУП (рис. 1) реализовывался в условиях Института физики перспективных материалов ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» на образцах из стали указанных марок диаметром 20 мм и длиной 120 мм.

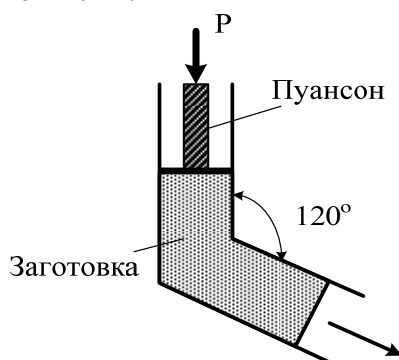


Рис. 1. Схема экспериментального равноканального углового прессования

* Работа проведена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор 13.G25.31.0061), АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2013 годы)» (проект 2.1.2/9277), а также ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (гос. контракт П983).

Заготовка продавливалась через специальную оснастку в виде двух пересекающихся под углом 120° каналов с одинаковыми сечениями (рис. 1). РКУП осуществлялось при температуре, составляющей около 0,3-0,4 от температуры плавления стали марок 20 и 45 и равной 400°C , количество проходов – 1, 2, 3, 4 и 8 с поворотом образца вокруг продольной оси на 90° после каждого прохода, что приводило к изменению направления сдвига и обеспечивало знакопеременную деформацию.

После каждого цикла обработки проводили механические испытания (измерение микротвердости, испытания на растяжение, испытания на изгиб) и микроанализ, в результате которого были выполнены измерения количественных характеристик микроструктуры (ширина деформационных полос, размер фрагментов феррита, толщина цементитных пластин, толщина ферритных пластин, межпластинчатое расстояние, объемная доля фрагментированного феррита, объемная доля деформационных полос).

Учитывая новизну проводимых исследований по изучению взаимосвязей между множествами механических свойств материала, параметрами микроструктуры и параметрами управления на первом этапе при обработке экспериментальных данных было использовано статистическое описание.

Анализ экспериментальных данных производился в программе STATISTICA. Методом для статистической обработки результатов экспериментальных наблюдений являлось построение уравнений множественной регрессии. Это позволило свести частные, разрозненные данные к некоторому линейному графику, приблизительно отражающему их внутреннюю взаимосвязь, и получить возможность по значению одной из переменных приблизительно оценивать вероятное значение другой переменной [6].

В результате регрессионного анализа были получены уравнения взаимосвязи прочностных свойств и структурных параметров наноструктурированной стали марок 20 и 45:

- для стали марки 20:

$$\begin{aligned}
\sigma_B &= \sigma_{B0} \cdot (1,37515 + 0,72888 \cdot S - 1,04724 \cdot h_\phi - 1,19045 \cdot h_y - 0,07273 \cdot K_{\text{деф}} + \\
&+ 0,09715 \cdot B_\phi + 0,00134 \cdot V_\phi + 0,00057 \cdot V_{\text{деф}} + 0,12977 \cdot \varepsilon); \\
\sigma_T &= \sigma_{T0} \cdot (1,812 - 0,016354 \cdot S + 0,283952 \cdot h_\phi + 0,234051 \cdot h_y - 0,02497 \cdot K_{\text{деф}} - \\
&- 0,025408 \cdot B_\phi - 0,000422 \cdot V_\phi - 0,000071 \cdot V_{\text{деф}} + 0,284919 \cdot \varepsilon); \\
\delta_8 &= \delta_8(0) \cdot (0,61768 + 2,39980 \cdot S - 1,03879 \cdot h_\phi - 2,00159 \cdot h_y - 0,48385 \cdot K_{\text{деф}} + \\
&+ 0,10499 \cdot B_\phi + 0,00079 \cdot V_\phi + 0,00133 \cdot V_{\text{деф}} - 0,23989 \cdot \varepsilon); \\
\psi &= \psi_0 \cdot (0,8917 + 0,83987 \cdot S - 0,94301 \cdot h_\phi - 1,16180 \cdot h_y - 0,11055 \cdot K_{\text{деф}} + \\
&+ 0,08842 \cdot B_\phi + 0,00115 \cdot V_\phi + 0,0006 \cdot V_{\text{деф}} - 0,06334 \cdot \varepsilon); \\
KCU &= KCU_0 \cdot (0,17805 - 1,88314 \cdot S + 3,3861 \cdot h_\phi + 3,61734 \cdot h_y + 0,11887 \cdot K_{\text{деф}} - \\
&- 0,31167 \cdot B_\phi - 0,00449 \cdot V_\phi - 0,00162 \cdot V_{\text{деф}} + 0,18952 \cdot \varepsilon); \\
KCU^{-60} &= KCU_0^{-60} \cdot (0,035996 - 0,768509 \cdot S + 2,025537 \cdot h_\phi + 1,988641 \cdot h_y - \\
&- 0,0116787 \cdot K_{\text{деф}} - 0,1846 \cdot B_\phi - 0,002801 \cdot V_\phi - 0,0008 \cdot V_{\text{деф}} + 0,110025 \cdot \varepsilon);
\end{aligned}$$

- для стали марки 45:

$$\begin{aligned}
\sigma_B &= \sigma_{B0} \cdot (1,165045 + 0,085151 \cdot S + 0,148633 \cdot h_\phi + 0,518486 \cdot h_y - \\
&- 0,103656 \cdot K_{\text{деф}} - 0,031924 \cdot B_\phi - 0,0005 \cdot V_\phi + 0,000122 \cdot V_{\text{деф}} + 0,104421 \cdot \varepsilon); \\
\sigma_T &= \sigma_{T0} \cdot (1,363184 - 0,218557 \cdot S - 0,247939 \cdot h_\phi - 0,223016 \cdot h_y + \\
&+ 0,13126 \cdot K_{\text{деф}} + 0,046069 \cdot B_\phi + 0,000737 \cdot V_\phi - 0,000221 \cdot V_{\text{деф}} + 0,104795 \cdot \varepsilon); \\
\delta_8 &= \delta_8(0) \cdot (0,376799 + 0,231813 \cdot S + 0,527758 \cdot h_\phi + 2,43742 \cdot h_y - \\
&- 0,406453 \cdot K_{\text{деф}} - 0,119978 \cdot B_\phi - 0,001888 \cdot V_\phi + 0,000415 \cdot V_{\text{деф}} - 0,056484 \cdot \varepsilon); \\
\psi &= \psi_0 \cdot (0,71507 + 0,121068 \cdot S + 0,024766 \cdot h_\phi - 0,81024 \cdot h_y + 0,040911 \cdot K_{\text{деф}} + \\
&+ 0,004717 \cdot B_\phi + 0,000062 \cdot V_\phi + 0,000046 \cdot V_{\text{деф}} - 0,106364 \cdot \varepsilon); \\
KCU &= KCU_0 \cdot (-0,154294 + 0,332896 \cdot S + 0,625736 \cdot h_\phi + 2,397417 \cdot h_y - \\
&- 0,450312 \cdot K_{\text{деф}} - 0,136801 \cdot B_\phi + 0,002159 \cdot V_\phi + 0,000506 \cdot V_{\text{деф}} + 0,187611 \cdot \varepsilon); \\
KCU^{-60} &= KCU_0^{-60} \cdot (0,06067 + 1,22622 \cdot S + 0,41835 \cdot h_\phi - 6,81693 \cdot h_y + \\
&+ 0,24529 \cdot K_{\text{деф}} + 0,00278 \cdot B_\phi - 0,00008 \cdot V_\phi + 0,00058 \cdot V_{\text{деф}} + 0,20505 \cdot \varepsilon);
\end{aligned}$$

Для оценки взаимосвязи основных механических свойств получаемых сталей и структурных составляющих, а также количества проходов при РКУП был составлен алгоритм расчета, на основании которого разработана компьютерная программа, позволяющая рассчитать механические свойства стали при различных соотношениях структурных составляющих в процессе РКУП при варьируемых технологических параметрах. Блок-схема программы представлена на рис. 2.

В этой программе реализован алгоритм «прямой» задачи управления структурой и свойст-

вами конструкционных наносталей в процессе РКУП. По известным нам показателям механических свойств в исходном состоянии, определяются параметры управления процессом РКУП (марка стали, количество циклов обработки РКУП, диаметр образца, угол сопряжения каналов), формирующие необходимые параметры микроструктуры наностали, обеспечивающие требуемые механические свойства после обработки.

Преимущество этой программы заключается в том, что она позволяет, не проводя механические испытания (измерение микротвердости, испы-

тания на растяжение, испытания на изгиб) после каждого цикла обработки, рассчитать механические свойства сталей (временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость) после n-го числа проходов РКУП.

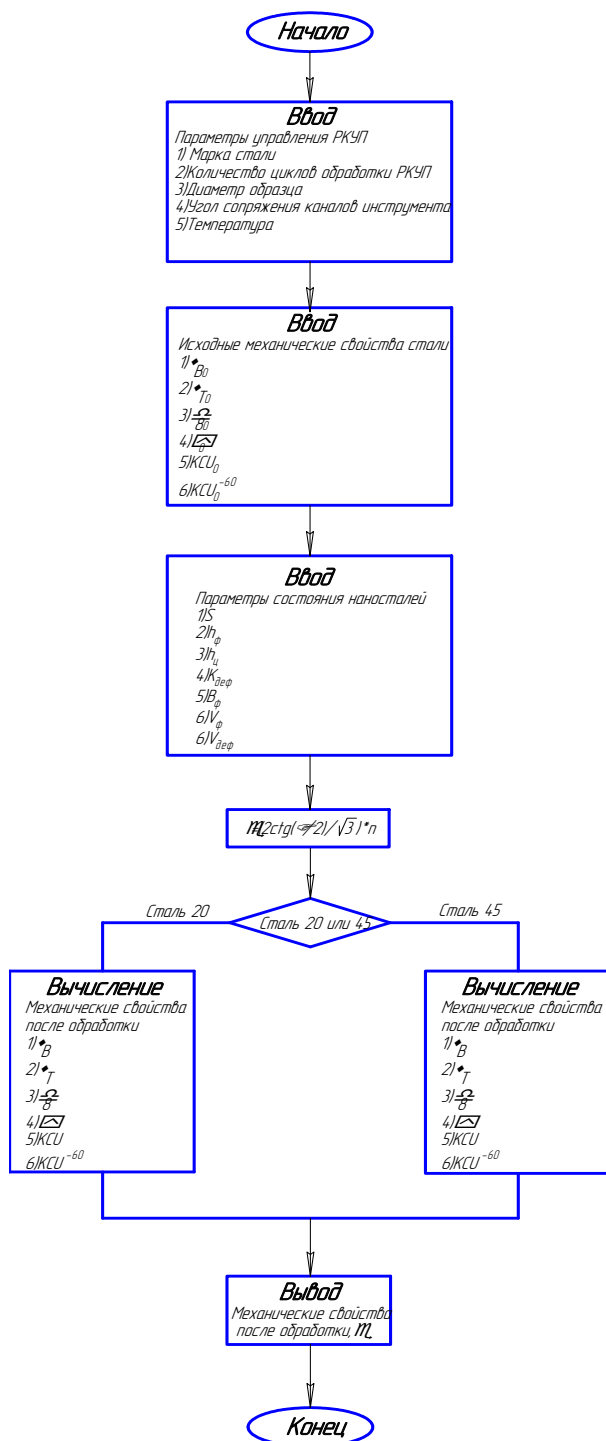


Рис. 2. Блок-схема программы

Данная программа написана по результатам исследования для двух марок стали (сталь 20 и 45) и для четырех проходов РКУП, но в дальнейшем будут проводиться исследования механических свойств и микроструктуры других конструкционных наносталей в процессе РКУП и новые данные будут использованы для расчетов в этом программном продукте.

Результаты, полученные в данном исследовании, открывают путь для практических разработок по использованию наноструктурных металлов и сплавов в качестве новых конструкционных материалов в метизном производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398 с.
2. Рааб Г.И. Развитие научных основ технологий интенсивной пластической деформации и создание оборудования по схеме равноканального углового прессования для получения ультрамелкозернистых металлических полуфабрикатов. – Уфа, 2009. – 36 с.
3. Чукин М.В., Копцева Н.В., Валиев Р.З., Яковлева И.Л., Zrnik G., Covarik T. Дифракционный электронно-микроскопический анализ субмикрористаллической и нанокристаллической структуры конструкционных углеродистых сталей после равноканального углового прессования и последующего деформирования // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2008. – № 1. – С. 31 – 37.
4. Чукин М.В., Полякова М.А., Барышников М.П. Особенности реологических свойств углеродистых конструкционных сталей марок 20 и 45 с объемной наноструктурой // Проблемы черной металлургии и материаловедения. ФГУП «ЦНИИ-чермет им. И.П. Бардина». – 2009. – №2. – С. 85-92.
5. Ефимова Ю.Ю., Копцева Н.В., Никитенко О.А. Исследование состояния карбидной фазы после наноструктурирования и последующего волочения низкоуглеродистой стали // Вестник МГТУ. – 2009. – №3. – С. 45 – 48.
6. Чукин М.В., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Барышников М.П. Формирование механических свойств углеродистой конструкционной стали в процессе равноканального углового прессования // Метизы. – 2010. – № 6 [61]. – С. 16-21.